

사용자비용최적화를 통한 도로 설계서비스수준 산정방안

The Method of Deciding Design Level of Service with Optimal User Cost

장 재 남
(한국종합기술개발공사 도로부)

이 용 택
(서울대학교 환경대학원 박사과정)

김 호 덕
(경찰청 경찰대학교 경위)

장 명 순
(한양대학교 교통공학과 교수)

목 차

- | | |
|----------------------------|----------------------|
| I. 서론 | III. 자료의 정리 및 모형의 개발 |
| 1. 연구의 배경 및 목적 | 1. 자료의 정리 |
| 2. 연구의 범위 및 수행방법 | 2. 모형의 개발 |
| II. 문헌 고찰 | IV. 결론 및 향후 연구과제 |
| 1. 고속도로 설계서비스수준
산정기준 검토 | 1. 결론 |
| 2. 관련인자 고찰 | 2. 향후 연구과제 |
| | 참고문헌 |

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

도로시설의 서비스수준(Level of Service)은 사용자의 입장에서 도로서비스의 질을 평가하기 위한 정성적인 판단기준으로, 도로시설별로 매우 다양한 평가 척도(Measures Of Effectiveness)들이 사용된다. 도로 용량 편람(KHCM)에 따르면 고속도로의 경우 밀도, 평균 통행속도, 교통량대 용량비(V/C), 교통량 등을 사용하고 있다. 고속도로의 기본구간의 경우, 속도와 밀도보다는 사용이 편리한 교통량대 용량비가 많이 사용된다. 교통량대 용량비를 기준으로 도로를 설계, 운영한다는 것은 궁극적으로 도로의 혼잡상태를 어느 정도까지 허용함으로써 사용자들에게 어느 정도의 이동의 자유를 부여할 것인가를 의미한다. 그런데, 지금까지의 교통량대 용량비 적용기준은 도로의 혼잡도를 기준으로, 즉 사용자의 정성적인 지표를 적용하는 것이다. 합리적인 도로 설계와 운영을 위한 평가지표라면, 사용자에게 영향을 미치는 인자를 보다 총괄적으로 평가할 수 있어야

한다. 이러한 견지에서 보면, 사용자가 해당 도로를 가장 안전하고 적은 비용으로 운행하도록 도로를 설계하고 운영하여야 할 것이며, 따라서 사용자비용(User Cost)로 접근하는 것이 합리적이다. 따라서 본 연구에서는 교통량대 용량비의 변화에 따른 사용자 비용의 관계를 정립을 목적으로 한다. 아울러 고속도로 기본구간의 합리적인 설계 및 운영기준 정립을 위한 서비스수준을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 수행방법

1) 연구의 범위

연구의 내용적 범위는 고속도로 기본구간의 합리적 서비스수준 산정방안을 모색하는 것이다. 고속도로 서비스수준변화가 사용자, 운영자, 사회 전체에 대한 미치는 항목을 기술하면, <표 1>과 같이 다양하게 표현 할 수 있으나, 서비스수준의 개념이 고속도로상의 사용자가 느끼는 도로에 대한 평가척도임을 감안하여, 고속도로상에서 사용자가 직접적으로 받는 영향을 사용자비용으로 보고, 이들을 대상으로 정량적 산출을 시도하였다.

<표 1> 서비스수준에 따른 주체별 효과

구분	운전자	운영자	사회전체
직접효과	통행시간	건설비용	-
	사고비용 운영비용	운영비용	
간접효과	-	-	고용증진 대기오염 소음, 진동 지가상승

본 연구의 공간적 배경으로는 지방부 고속도로 중의 하나로 설계속도 100km/h인 신갈-안산고속도로와 중부고속도로의 기본구간(2km 구간) 4개 지점을 선정하여 사고자료, 교통량자료, 기하구조자료를 수집하여 분석하였다.

2) 연구의 수행방법

- 본 연구의 수행방법은 다음과 같다.
- (단계 1) 문헌고찰을 통해 사용자비용의 산정방식을 검토한다.
 - (단계 2) 교통량대 용량비와 관련비용의 직접적인 함수관계를 도출한다.
 - (단계 3) 분석결과 서비스수준의 합리적 선정수준을 제시한다.
 - (단계 4) 사용자비용을 최소화하는 교통량대 용량비 수준을 산정하고 현재 설계기준과 비교·분석한다.

II. 관련문헌 고찰

1. 고속도로 설계서비스 수준 산정기준 검토

1) 도로용량편람(건설부,1992)

우리나라의 도로설계서비스수준(Design Level of Service)은 지역별 도로형태별 특성을 감안하여 설계수준을 결정하고 있다. 도시지역 도로인 경우 설계서비스를 낮게 적용하고 있는데 이는 교통량의 변화가 비교적 심하지 않고, 사용자들이 교통혼잡에 민감하지 않음을 반영하는 것이다. 반면 지방고속도로의 경우, 교통량의 변화가 심하고 장거리 통행이 많은 지역간 교통특성을 반영하여 높은 서비스 수준으로 설계하고 있다. 건설부(1992)가 제시한 우리나라의 서비스 수준을 살펴보면 <표 2>와 같다. 이러한 설계서비스 수준을 적용할 때는 효과적도 V/C의 최대값을 일률적으로 적용하고 있다. 도로용량편람에서 제공하는 차로수 결정식은 (식 2)와 같다. 여기서 (식 1)은 서비스교통량(SF_i) 산정식을 나타내고 있으며, 여기에서 가장 영향

을 크게 미치는 변수는 교통량대 용량비, 즉 설계서비스 수준임을 알 수 있다.

<표 2> 우리나라 도로종류별 설계서비스수준

도로구분	지역구분	
	지방지역	도시지역
고속도로	C	D
일반도로	D	D

$$SF_i = 2,200 \times (V/C)_i \times N \times f_w \times f_{HV} \quad (1)$$

여기서, N = 차로수
 (V/C)_i = 교통량대용량비
 f_w = 차선평면충방여유폭보정계수
 f_{HV} = 중차량보정계수

$$N = \frac{(AADT \times K \times D)}{SF_i \times PHF} \quad (2)$$

여기서, AADT = 연평균 일교통량(대/일)
 K = 설계시간계수
 D = 중방향계수
 PHF = 첨두시간계수

2) 미국(AASHTO(1994), TRB(1985))

미국의 서비스수준의 개념은 우리나라의 서비스수준개념과 동일하며, 다만 지역별·도로형태별 서비스 수준이 세분화 되어있고, 전반적으로 우리나라보다 한 등급 높은 서비스 수준을 적용하고 있는 점에서 차이가 있다. 또한 서비스교통량 산정식 중 우리의 서비스 교통량 산정방식과 다른 점은 여가차량이나 익숙치 않은 사용자 집단에 대한 보정계수(f_p)가 추가되고 있다.

<표 3> 미국의 도로 지역별 형태별 설계 서비스 수준

도로의 종류	지방부			도시 및
	평지	구릉지	산지	교외지역
Freeway	B	B	C	C
Arterial	B	B	C	C
Collection	C	C	D	D
Local	D	D	D	D

3) 일본(도로구조령의 해설과 운용,1983)

일본의 경우 「일본 도로구조령의 해설과 운용」을 살펴보면 설계서비스 수준의 개념이 없다. 이때 차로수 선정은 (식 3)과 같이 계획교통량을 설계기준교통량으로 나누어 산정하는데, 설계기준 교통량은 도로의 종류별·지형별로 외생적으로 주어진다.

$$N = \frac{\text{계획교통량}}{\text{설계기준교통량}} \quad (3)$$

2. 관련인자 고찰

고속도로 기본구간의 설계서비스수준을 나타내는 중요한 지표는 교통량대 용량비로, 이는 사용자에게 이동의 자유도 뿐만 아니라, 통행시간과 운행비용 및 사고비용 등으로 직접적인 영향을 미친다. 따라서 본 절에서는 교통량대 용량비와 이것의 영향을 받는 인자(사고율, 운행비, 통행시간)와의 관계를 고찰하고자 한다.

1) 사고율과 사고비용

다수의 국내외 연구 결과들이 교통량대 용량비가 사고에 직접적인 영향을 주고있다고 보고하고 있다. 특히 사고율(Accident Rate; AR)과 교통량대 용량비의 변화는 연구자와 연구지역에 따라 다소 차이는 있지만, 일반적으로 'U' 형태의 함수관계를 가지는 것으로 알려져 있다. 이는 교통량대 용량비가 증가함에 따라 처음에는 점차 사고율이 낮아지다가 일정 수준을 지나면 다시 사고율이 증가하는 것을 의미한다. (Gwynn, 1967; Ceder, A, 1982; Frantzeskakis, 1987; Hall, 1989; MinZhou, 1997; 오철외, 1999) 직관적으로 사고율이 증가함에 따라 사고비용 역시 증가할 것으로 판단되나, 이에 대한 실증적인 연구는 없는 실정이다. 다만 사고비용추정에 대한 연구는 활발이 진행 중에 있으며, 접근방법 및 추계방법에 따라 다양한 산정방식이 있다. 접근방법에는 인적자본(Human Capital)방법, 교통사고억제측면의 접근법, 사고위험변화의 가치계산방법, 보험료를 산정법 등이 있다. 우리나라의 경우, 인적자본법의 일종인 총생산손실법(Gross Output Method)과 개인선호성법(Willingness to Pay Method)의 초보적인 연구가 진행되고 있다. 이수범(1999)은 개인선호성법이 개인적 차이가 크게 발생할 수 있어, 분석이 어렵고 그 과정이 복잡하여, 우리나라에서 사용하기에는 아직 어려운 점이 많은 것으로 보고하고 있다. 따라서 그는 총생산손실법을 이용하여 추정한 결과, 사고 1건당 도로교통사고 비용으로 사망이 345백만원, 중상이 48백만원, 경상이 8.6백만원, 물피사고가 1.3백만원으로 보고하고 있다.¹⁾

2) 차량운행비용

차량의 운행비용은 운행과 관련하여 발생하는 가변비용(Variable Cost)과 운행과 관계없이 일정량 투입되는 고정비용(Fixed Cost)으로 구분된다. 가변비용은 연료의 소비가 가장 결정적인 요소라고 볼 수 있으며, 이는 속도의 함수로 보고되고 있다.

Winfrey(1963, 1969)의 연구에서는 연료의 소비를 속도의 함수로 보고, 경사, 커브, 속도

변화, 노면의 질을 보정계수로 활용하고 있으며, 엔진오일에 대해서는 주행시간에 따른 기본소모량에 엔진회전속도 보정방법을 제시하고 있다. 타이어의 소모에 대해서는 주행거리를 기준으로 하고 있다. World Bank(1994)에서 사용하는 차량운행비 산정방식⁵⁾은 연료비용은 속도의 함수로 구성되며, 차량별로 조정계수와 연료별 효율계수로 보정하여 적용한다. 또한 윤활유의 소모는 노면의 질을 독립변수로 하고, 타이어의 소모에 대해서는 소형차의 경우 노면의 질을 기준으로 하고 대형차의 경우 타이어 수, 재생타이어 수, 평균 주행거리에 따라 산정하고 있다. 국내연구로는 교통개발연구원(1998)에서 1997~98년도를 기준으로 산정한 차종별 연간 운행비용²⁾을 가변비용(연료, 윤활유, 타이어, 유지관리비)과 고정비용(세금, 공과금, 보험, 감가상각)으로 구분하여 산정하였다. 분석결과, 차종별 운행비용은 승용차가 277,000원/1000km, 버스가 519,000원/1000km, 트럭이 647,200원/1000km로 나타났다. 여기서 연료비용 이외의 대부분 가변비용들은 그 액수가 전체 운행비용에서 차지하는 비중이 적고, 이들의 소모는 노면의 상태, 누적 주행거리 등과 보다 더 직접적인 연관이 있는 것으로 분석되었다. 이와 달리 연료의 소모에 있어서 속도이외 타 요인들은 차량의 속도를 보정하는 수준에서 반영되는 것으로, 연료비를 통행속도의 함수로 분석하는 것이 가능하다. 위 연구에서는 연료소비를 차량종별로 통행속도의 함수로 구분하여 개발하였으며 그 결과는 <표 4>와 같다. 이와 같이 교통량의 영향을 받는 운행비변화를 연료비중심으로 본다면, 통행속도는 교통량대 용량비를 통해 도출이 가능하기 때문에 교통량대 용량비와 운행비 사이의 관계역시 밝힐수가 있는 것이다. 실제로 서선덕(1991)³⁾ 등은 운행비용을 교통량대 용량비의 함수로 개발하여 사용하고 있다.

<표 4> 차종별 연료소비량 함수 (97년 기준)

구분	함 수 값 (단위:ℓ/1000km)
승용차	$fuel_a = 11.6837 + \frac{1.183.91}{speed} + 0.004693 \times speed^2$
버스	$fuel_b = 67.5179 + \frac{1.613.46}{speed} + 0.01766 \times speed^2$
트럭	$fuel_t = 90.2777 + \frac{1.922.82}{speed} + 0.1932 \times speed^2$

3) 통행시간비용

통행시간비용은 통행에 소요되는 시간을 비용의 개념으로 환산한 것으로 평균소득을 기준으로 한 '한계임금률법'⁴⁾이 많이 사용되고 있다.

교통개발연구원(1998)의 연구에서는, '한계임금 룰법'을 사용하여 통행시간비용을 업무통행과 비업무통행으로 구분하여 시간가치를 산정하고 있다⁵¹. 이 연구에서는 업무통행의 경우, 월 평균소득과 평균 근로시간을 통해 통행시간당 가치를 산정하였는데, 버스 이용자와 승용차 이용자를 구분하고 있다. 이와 같은 방식을 통해, 업무 통행의 경우 승용차 이용자는 14,224원, 버스 이용자는 7,055원의 시간가치가 산정되었다. 비업무통행(쇼핑, 레저, 친교, 오락 등)은 해당 목적별로 별도의 시간가치를 산정 하는 것이 타당하나, 이들의 목적별 가치는 주관적인 성향이 강하므로 조사자체가 어렵고, 결과의 신빙성도 부족하다. 이러한 문제점에 때문에 국내 연구들은(강승필,1995;교통개발연구원,1998)⁴⁵ 외국에서 비업무통행의 시간가치를 업무통행 평균치의 25% 수준으로 측정하고 있음을 감안하여 국내에 대해서도 같은 비율을 적용하고 있다. 통행시간에 대해서는 교통량대 용량의 함수로 설명가능함이 이미 많은 연구들을 통해 밝혀져 있다. 이에 대한 연구로는 미국 연방도로국(Bureau of Public Road)(1964)의 BPR공식이 대표적이며, 이 식은 혼잡시 최대교통량이 통과할 때의 통행시간이 자유류(Free Flow)하의 통행시간에 비해 15% 증가한다는 것으로 우리나라 현실에는 비현실적이다. 이를 개선하기 위해서 서선덕(1991)³¹은 우리나라 고속도로에 적합하도록 BPR식의 계수를 조정하였다.

$$T = T_o [1.0 + 0.91 (Vd/Cd)^3] \quad (4)$$

$$R^2 = 0.937$$

$$S = 109 - 45.3 (Vd/Cd)$$

$$(단, V/C \leq 1) \quad R^2 = 0.81$$

T : 통행시간 S : 통행속도

T₀ : 자유류상태 하에서의 통행시간

Vd : 연평균일교통량(AADT)

Cd : 고속도로 용량

III. 자료의 정리 및 모형의 개발

1. 자료의 정리

1) 교통량대 용량비(V/C)

한국도로공사의 '92~'97년까지의 교통량 자료(고속도로 교통량 교통량조사)를 시간대별로 연평균시간당 교통량자료를 사용하였다. 교통량대 용량비는 (식 5)에 제시된 KHCM의 용량과 교통량대 용량비 산정식을 이용하였다.

$$(V/C)_i = \frac{AAV_i}{2,200 \times N \times f_w \times f_{hw}} \quad (5)$$

(V/C)_i : i 시간대의 교통량 대 용량비

AAV_i : i 시간대 연평균 교통량(대/시)

2) 사고비용

(1) 분석의 기본가정

사고비용은 고속도로기본구간 2Km상에서 발생한 시간대별 사고유형별 사고비용을 (식 6)과 같이 산출하였다.

$$\begin{aligned} \text{사고비용} &= \text{사망사고비용} + \text{중상사고비용} \\ &\quad + \text{경상사고비용} + \text{물피사고비용} \quad (6) \end{aligned}$$

여기서, 100만대-km당 사망사고비용

$$= \frac{\text{사망수} \times \text{사망1인당비용} \times 1,000,000\text{대}}{AAV_i \times 2\text{km}}$$

100만대-km당 중상사고비용

$$= \frac{\text{중상수} \times \text{중상1인당비용} \times 1,000,000\text{대}}{AAV_i \times 2\text{km}}$$

100만대-km당 경상사고비용

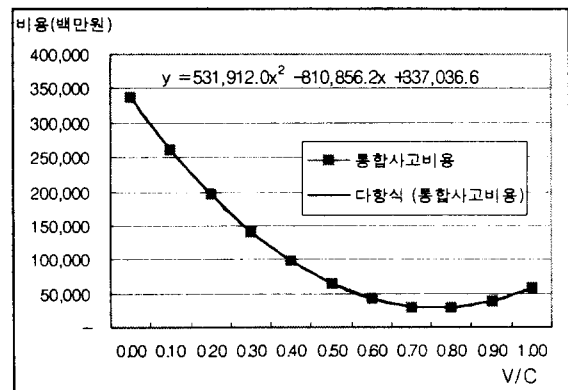
$$= \frac{\text{경상수} \times \text{경상1인당비용} \times 1,000,000\text{대}}{AAV_i \times 2\text{km}}$$

100만대-km당 물피사고비용

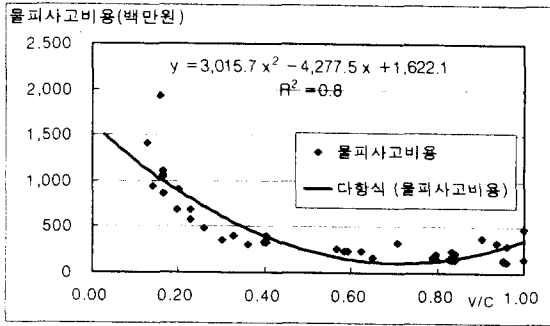
$$= \frac{\text{물피사고수} \times \text{물피1인당비용} \times 1,000,000\text{대}}{AAV_i \times 2\text{km}}$$

(2) 분석결과

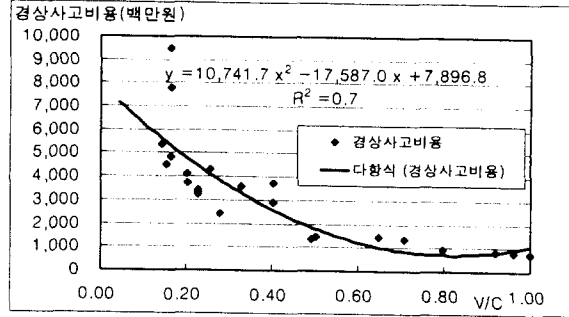
100만대-km당 사고비용을 종속변수로 교통량대 용량비를 독립변수로 하여, 회귀분석을 수행한 결과는 그림 와 같이 모두 'U'형을 나타내고 있다. 경상사고의 경우, 교통량대 용량비의 전역에서 발생하고 있으며, 사고비용이 최저가 되는 교통량대 용량비는 0.80로 나타났다. 중상 사고비용의 경우, 사고비용이 최저가 되는 교통량대 용량비는 0.75로 나타났다. 사망사고비용의 경우, 사고비용이 최저가 되는 교통량대 용량비는 0.76으로 나타났다. 물피사고의 경우, 최저 교통량대 용량비는 0.75로 나타났다. 총사고비용은 식 6과 같으며, 사고 유형별 비용식에서도 출된 사고비용의 합으로 산출하였다. 이때 최저 교통량대 용량비는 0.75로 분석되었다.



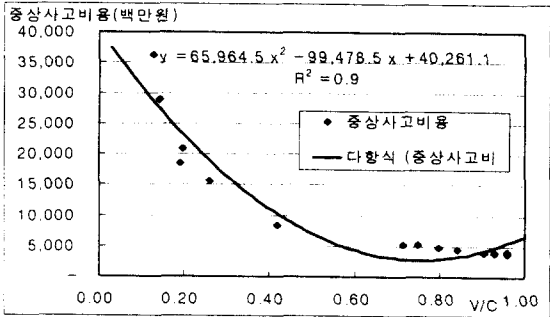
<그림 5> 사고비용



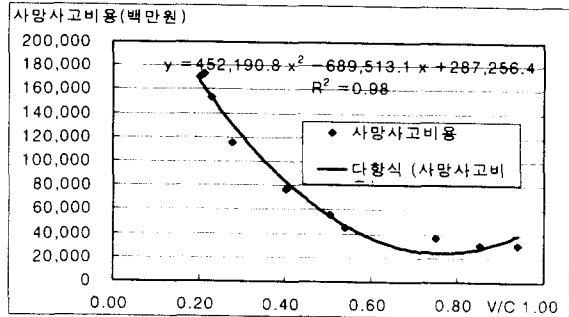
<그림 1> 물피사고비용곡선



<그림 2> 경상사고비용곡선



<그림 3> 중상사고비용곡선



<그림 4> 사망사고비용곡선

여기서 사망 1인당 비용, 중상 1인당 비용, 경상 1인당 비용, 물피사고 1건당 비용은 이수범(1999)의 사고건당 평균비용 연구결과를 수 용하였다.

3) 차량운행비용

(1) 분석의 기본가정

본 연구에서는 해당구간을 운행중 지불하는 비용으로 연료소모비용 만을 계산하였다.

연료소모량은 교통개발연구원의 연구(1998)결과를 차종비율에 따라 100만대-km당 비용으로 환산하여 (식 7)과 같이 산정 하였다.

$$\begin{aligned}
 &100\text{만대-km 기준 총연료 소모량} \\
 &= ((\text{승용차연료소모량} (/10^3\text{km}) \times \text{휘발유가격} \times S^a) \\
 &+ (\text{버스연료소모량} (/10^3\text{km}) \times \text{경유가격} \times S^b) \\
 &+ (\text{트럭연료소모량} (/10^3\text{km}) \times \text{경유가격} \times S^c)) \\
 &\times \frac{1000,000\text{대}}{1,000\text{km}} \times 365 \times 6\text{년} \quad (7)
 \end{aligned}$$

여기서 수단별 연료비는 98년 평균 연료비를 사용하였다.

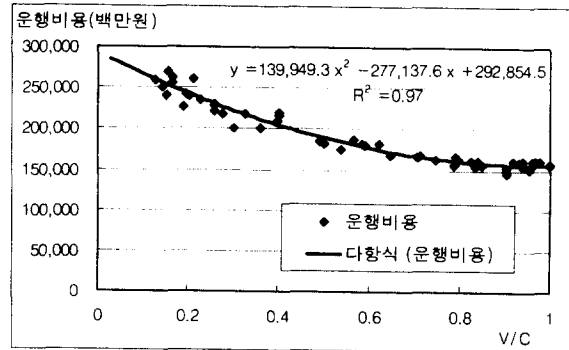
(2) 분석결과

100만대-km당 차량운행비용을 종속변수로 교통량대 용량비를 독립변수로 하여, 회귀분석을 수행한 결과는 <그림 6>과 같이 'U'형을 나타내고 있다. 100만대-km당 차량운행비용곡선을 살펴보면, 교통량대 용량비 지점이 0.97로 가장 낮은 것으로 분석되었다.

4) 통행시간비용

(1) 분석의 기본가정

본 연구에서는 해당 구간 주행시 통행시간 비용을 산정하였으며, 산정식은 (식 8)과 같다.



<그림 6> 100만대-km 기준 차량운행비용곡선

통행시간비용은 차종비율과 업무, 비업무 통행 비용으로 구분하여 100만대-km 비용으로 환산하여 산정하였다.

$$\begin{aligned}
 &100\text{만대-km 기준 총통행시간비용} \quad (8) \\
 &= \left\{ 100\text{만대} \times \frac{\text{구간길이}(2\text{km})}{(109 - 45.3(V/C))} \right\} \\
 &\times \{ (S^a \times P^a \times T_w \times C_w^a) \\
 &+ (S^a \times P^a \times T_{nw} \times C_{nw}^a) \\
 &+ (S^b \times P^b \times T_w \times C_w^b) \\
 &+ (S^b \times P^b \times T_{nw} \times C_{nw}^b) \} \times 365 \times 6\text{년}
 \end{aligned}$$

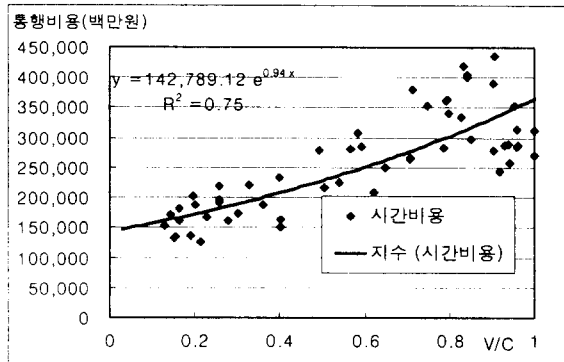
여기서 사용한 지표는 교통개발연구원(1998)⁵⁾의 자료를 이용하였으며 그 값은 <표 5>와 같다.

<표 5> 수단별 통행목적별 시간가치

구분	승용차	버스
재차인원(인)	1.5	25.3
업무통행시간비용(원)	14,224	7,055
비업무통행시간비용(원)	1,764	1,764
업무통행비율(%)	12.2	12.2
비업무통행비율(%)	87.8	87.8

(2) 분석결과

100만대-km당 통행시간비용을 종속변수로, 교통량대 용량비를 독립변수로 하여, 회귀분석을 수행한 결과는 <그림 7>과 같이 V/C가 증가함에 따라 통행시간비용도 증가하는 함수 형태를 나타내고 있다.



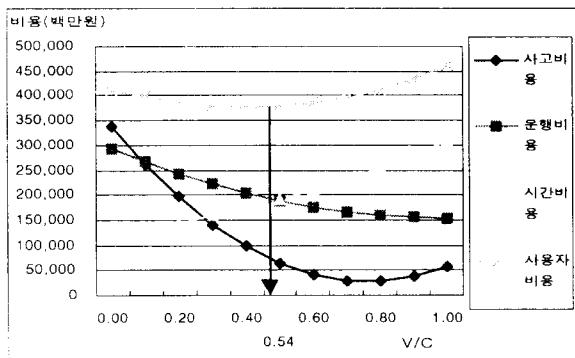
<그림 7> 통행시간비용곡선

2. 모형개발

고속도로 사용자의 사용자비용은 사고비용, 차량운행비용, 통행시간비용의 총합으로 산정할 수 있으며, 사용자비용은 (식 9) 와 같이 교통량대 용량의 함수로 산출된다.

$$\begin{aligned} \text{사용자비용(백만원)} & \quad (9) \\ & = 671,862.3(V/C)^2 - 1,087,993.8(V/C) \\ & + 629,891.1 + 142,789.1 \text{Exp}(0.94 V/C) \end{aligned}$$

이때 교통량대 용량비는 0.54에서 최소값을 가짐으로써 이것이 사용자비용을 최소로 하는 교통량과 용량비임을 알 수 있다.



< 그림 8> 사용자 비용곡선

IV. 결론

1. 결론

고속도로 기본구간의 설계기준은 교통량대 용량비로 사용자가 도로상에서 느끼는 혼잡을 정성적으로 분석하여 적용하여 왔다. 그러나 본 연구에서는 사용자비용의 개념을 적용하여 최적의 도로 설계, 운영조건을 정량적인 방법으로 사용하였다. 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 신갈-안산고속도로와 중부고속도로 기본구간의 6년간 사고자료, 교통량자료, 기하구조 자료를 분석하여 고속도로 기본구간의 사고비용곡선, 운행비용곡선, 통행시간비용곡선을 계산한 결과, 교통량대 용량비가 0.54인 지점에서 가장 적은 사용자비용을 지불하는 것으로 분석되었다.

둘째, 현재 설계속도 100km/h를 갖는 지방지역 고속도로 기본구간의 설계시 설계서비스 수준 "C"를 기준으로 V/C의 최대값인 0.70을 적용하고 있으나, 이는 본 연구에서 제시하고 있는 0.54에 비해 높은 수준이다. 따라서 현행 도로의 설계와 운영방식이 사용자의 비용을 증가시키고 있음을 보여주는 것이라 판단되며 보다 신뢰성 있는 결론을 유도하기 위해서는 본 분석과 같은 방법론을 활용하여 전역의 자료를 분석하는 것이 바람직하겠다.

2. 향후 연구과제

향후 연구과제는 전역 자료를 구축하고 폭 넓은 사례를 분석하여 지역별 도로유형별 서비스 수준을 정량적으로 평가할 수 있는 체계가 도입되어야 하며, 아울러 사용자뿐만 아니라, 운영자, 사회전체의 시스템비용에 대한 보다 정확한 함수식의 개발이 선행되어야 하며, 아울러 사용자비용을 최소화하는 설계기준에 대해 보다 체계적인 연구가 필요하다 판단된다.

-Notations-

- S : 수단분담율
- P : 재차인원
- T : 업무/비업무통행비용
- C : 통행시간비용
- a : 승용차, b : 버스, t : 트럭
- w : 업무통행, nw : 비업무통행

참고 문헌

- 1] 이수범, "교통사고의 사회적 비용과 특성", 교통안전 선진화를 위한 제도개선방안, 교통개발연구원 1999, pp 1-30.
- 2] 권영각, 임재경, 차량운행비의 산정, 교통개발연구원, 1998.
- 3] 서선덕, "도로용량함수와 혼잡비용", 교통정보, 1991, 10.
- 4] 강승필, "교통혼잡비용", 무질서의 경제적 비용에 관한 연구, 한국개발연구원, 국민경제교육연구소, 1995.
- 5] 교통개발연구원 "교통혼잡비용의 이론적 정립과 사례연구", 교통정책연구 제5권 제1호, 1998.
- 6] 오 철, 장재남, 장명순 "고속도로 시설물 구간의 교통혼잡도와 사고율의 관계분석" 대한교통학지 제 17권 제2호, 대한교통학회, 1999.